

УДК 621.922.02.9

М. Н. Шейко, канд. техн. наук, И. В. Бондарь, канд. техн. наук, Киев, Украина

**КИНЕТИКА ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА СВЯЗКИ  
ОДНОСЛОЙНОГО АЛМАЗНОГО ПРАВЯЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
С ПРОТЕКЦИЕЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ**

Досліджено знос нікелевої зв'язки одношарового алмазного правлячого інструменту на прикладі правлячих брусків, виготовлених методом гальванопластики, в процесі врізної правки абразивних кругів. Підтверджено закон гідроабразивного зносу, згідно з яким обсяг вимитий зв'язки, що дорівнює об'єму межзеренного простору робочого шару, із зростанням обсягу диспергованого матеріалу асимптотично наближається до граничного значення, що залежить від величини середньої товщини одиночного зрізу (опосередковано через подачу на глибину). Встановлено вплив іонно-плазмових покриттів робочій поверхні правлячого інструменту на швидкість процесу гідроабразивного зносу зв'язки. Показано, практичний ефект уповільнення зносу зв'язки спостерігався при її протекції іонно-плазмовим покриттям  $\text{TiN} / \text{Co}$ , а покриття  $\text{TiC} / \text{Co}$  виявилось не ефективним, ймовірно, в силу меншої адгезії до підкладки, що вимагає подальших досліджень.

Исследован износ никелевой связки однослойного алмазного правящего инструмента на примере правящих брусков, изготовленных методом гальванопластики, в процессе врезной правки абразивных кругов. Подтвержден закон гидроабразивного износа, согласно которому объем вымытой связки, равный объему межзеренного пространства рабочего слоя, с ростом объема диспергированного материала асимптотически приближается к предельному значению, зависящему от величины средней толщины одиночного среза (опосредовано через подачу на глубину). Установлено влияние ионно-плазменных покрытий рабочей поверхности правящего инструмента на скорость процесса гидроабразивного износа связки. Показано, практический эффект замедления износа связки наблюдался при ее протекции ионно-плазменным покрытием  $\text{TiN}/\text{Co}$ , а покрытие  $\text{TiC}/\text{Co}$  оказалось не эффективным, вероятно, в силу меньшей адгезии к подложке, что требует дальнейших исследований.

Studied the wear-layer nickel-binding ruling diamond tool on the example of the ruling bars fabricated by electroforming, in the process of editing mortise abrasive wheels. Confirmed by the law hydroabrasive wear, according to which the volume of washed bundles of equal volume of intergranular space of the working layer, with an increase in the volume of the dispersed material asymptotically approaches the limiting value, which depends on the size of the average thickness of a single cut (mediated through the depth of flow.) The effect of ion-plasma coatings the working surface of the tool of the ruling on the rate of wear Waterjet ligament. We show the practical effect of slowing down wear and tear ligaments observed in the protection of its ion-plasma coating  $\text{TiN} / \text{Co}$ , and the coating  $\text{TiC} / \text{Co}$  was not effective, probably due to less adhesion to the substrate, which requires further research.

Одной из составляющих ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий обработки резанием является врезные фасонное шлифование абразивными кругами с использованием прецизионного однослойного алмазного правящего инструмента – роликов и брусков. Одной из проблем повышения ресурса алмазного правящего инструмента, изготовленного методом гальванопластики, является надежное удержание алмазных зерен в никелевой связке, подвергаемой абразивному износу продуктами диспергирования ма-

териала шлифовальных кругов, и как следствие, – ослабляющему заделку алмаза в ней.

Решение проблемы неразрывно связано с задачей: 1) установления закономерностей выработки связки и образования карманов в межзеренном пространстве и 2) управления скоростью этого процесса.

Теория процесса правки с позиции абразивно-алмазной обработки построена в [1, 2], но многие вопросы требуют экспериментального изучения, так как немногочисленные опыты [3] носят поверхностный характер. В [4] выполнены исследования влияния покрытий на работоспособность, в основном, многослойных правящих инструментов. В работе [5] доказывается, что в процессе износа алмазного слоя однослойного правящего инструмента достигается динамическое равновесие между износом алмазов и вымыванием никелевой связки, а средний вылет зерен над связкой и объемы карманов в межзеренном пространстве стабилизируются на значительный период времени. В однослойном правящем инструменте износ рабочей поверхности происходит двумя путями: посредством абразивного износа алмазных зерен и посредством вырывания их из связки. Анализ характера износа рабочей поверхности алмазных правящих роликов и брусков показал: в ряде случаев второй механизм превалирует над первым. Это происходит за счет гидроабразивного вымывания связки вокруг зерна. Заделка зерна в связке уменьшается, прочность удержания ослабевает. Было показано, что величина, количественно характеризующая вымывание связки, и, как следствие, вылет зерна над связкой и прочность его удержания, – это удельный объем (на единицу площади рабочей поверхности) межзеренного пространства  $\omega$ , мм<sup>3</sup>/мм<sup>2</sup>. Эта величина стремится к своему пределу  $\omega_{\max}$ , зависящему от режимов резания, а скорость роста, кроме прочего, определяется твердостью связки в заделке зерна. Чем выше твердость, тем меньше величина  $\omega$ , достигаемая за какой-то промежуток времени [6]. Была выдвинута гипотеза, согласно которой ионно-плазменное покрытие, повышая твердость и износостойкость поверхности никелевой связки, замедляет темпы гидроабразивного вымывания связки и, следовательно, темпы вырывания наиболее нагруженных и выступающих зерен. В этом состоит предполагаемый механизм уменьшения удельного износа алмазов.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния ионно-плазменных покрытий рабочей поверхности правящего инструмента (на примере алмазного бруска) на скорость процесса абразивного износа связки. Ставилась задача: установить закономерности выработки связки и образования карманов в межзеренном пространстве рабочей поверхности, защищенной ионно-плазменными покрытиями.

Экспериментальный правящий брусок (рис. 1) был изготовлен по особой технологии с осаждением толстого слоя никеля. Это позволило исключить необходимость укрепления оболочечной конструкции заливкой сплава Вуда,

317

температура плавления которого ниже технологической температуры нанесения ионно-плазменного покрытия. Брусок был, аналогично [6], изготовлен многорожечным. Это позволило нанести покрытие на две дорожки, а оставшиеся две оставить контрольными и с одной установки в одинаковых условиях, на одинаковых режимах производить правку абразивных кругов и наблюдать за состоянием защищенной и не защищенной рабочей поверхностью.

Покрытие было нанесено на стадии, когда рабочая поверхность достаточно вскрыта. Таким образом, была защищена поверхность межзеренных карманов, что по нашим прогнозам должно было замедлить темп дальнейшего расширения этих карманов. Покрытия (TiC/Co, мелкозернистое, толщина 15 мкм и TiN/Co, крупнозернистое, толщина 15 мкм, причем компенсирующие прослойки из кобальта предназначены для уменьшения внутренних напряжений на границе покрытие-подложка) наносили на модернизированной установке ВУ2МБС-М, которая оснащена двумя дуготронами, двумя нагревательными элементами и оптическим пирометром частичного излучения «Смотрич-7».



Рисунок 1 – Экспериментальный правящий брусок, изготовленный методом гальванопластики с осаждением толстого слоя никеля

Параметры рабочего слоя: AC125T 500/400. Правка производилась на плоскошлифовальном станке мод. 3Е721ВС, на столе которого устанавливался брусок. Режим правки: подача на глубину  $t_0=0,001-0,010$  мм на ход стола, скорость стола  $V_s=22,5$  м/мин, скорость заправляемого круга  $V_d=30$  м/с (средняя для  $\varnothing 200 \dots 300$ ), отношение скоростей  $|q|=80$ . Правка проводилась с охлаждением 10%-ным содовым раствором, а абразивный материал заправляемых кругов – 24A25CT2. Рабочая поверхность бруска (как защищенная, так и контрольная) исследовалась с периодичностью порядка 20000 циклов. Измерения объемов межзеренных карманов производилось по методике [5].

Результаты исследований отражены на обобщающем графике (рис. 2) изменения удельного объема межзеренного пространства с ростом объема диспергированного материала заправляемых шлифовальных кругов на различных режимах правки и для различных состояний рабочей поверхности инст-

318

румента. Для наглядности объем измерялся в условных единицах (1 у.е. = 4524 мм<sup>3</sup> на 1 мм ширины круга).

Оказалось, поверхность связки, защищенной ионно-плазменным покрытием TiC/Co, изнашивается с такой же скоростью, что и без покрытия. На это указывают участки кривых износа связки при диспергировании материала шлифовальных кругов в диапазоне объемов от 0 до 4 у. е. и от 4 у. е. до 8,3 у. е. (при подачах на глубину  $t_0 = 0,001$  мм и  $t_0 = 0,005$  мм соответственно). Каждый из участков экспериментальных кривых, построенных для случая нанесения покрытия, совпадает с участком, построенным для случая без покрытия (контрольной рабочей поверхностью).

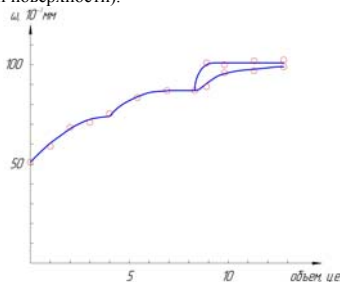


Рисунок 2 – Зависимость изменения удельного объема межзеренного пространства рабочей поверхности правящего инструмента от объема диспергированного материала заправляемых шлифовальных кругов, обобщающая влияние протекции изнашиваемой связки правящего инструмента и режима правки. Точки – экспериментальные данные, кривые – теоретико-экспериментальные в соответствии с [5].

Визуальные исследования поверхности также указывало на это. Исходная рабочая поверхность инструмента после нанесения слоя TiC/Co (рис. 3, а) значительно отличается от контрольной, без покрытия, но после вскрытия (рис. 3, б) практически неотличима от контрольной (рис. 4, а). После диспергирования 4 у. е. объема шлифовальных кругов поверхность с покрытием (рис. 3, в) также ничем не отличается от контрольной на этом же этапе испытаний. Повторно нанесенное покрытие TiC/Co (рис. 3, г) также практически было сразу удалено при диспергировании 1,4 у. е. (рис. 3, д) и 2,9 у. е. (рис. 3, е) кругов на режимах правки с подачей  $t_0 = 0,005$  мм. Соответствующие этим этапам испытаний контрольные рабочие поверхности показаны на рис. 4, б и рис. 4, в.

Иная картина наблюдалась при покрытии TiN/Co. На графике износа (рис. 2) в диапазоне от 8,3 у. е. до 12,8 у. е. двум ветвям соответствует износ связки, защищенной слоем TiN/Co (нижняя ветвь) и связки контрольной ра-

319

бочей поверхности (верхняя) на режимах правки с  $t_0 = 0,010$  мм. Замедление темпов износа участка с покрытием в этом случае не вызывает сомнений.

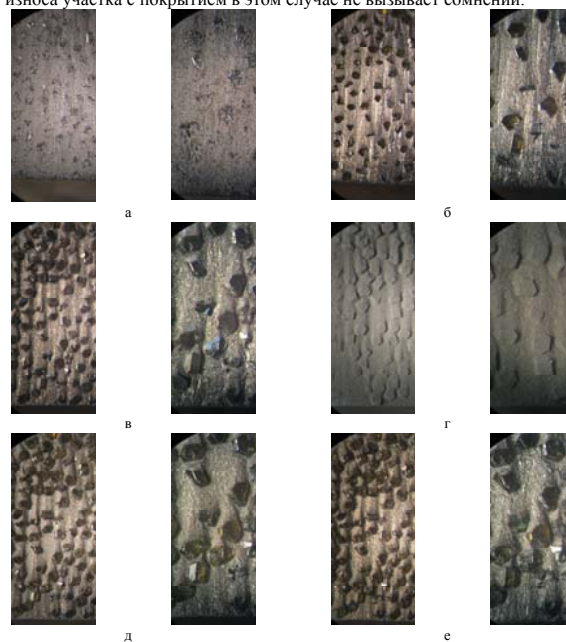


Рисунок 3 – Рабочая поверхность (при увеличении, отличающихся вдвое) алмазного правящего инструмента, защищенная ионно-плазменным покрытием TiC/Co, на различных стадиях износа: а) исходная поверхность после нанесения TiC/Co; б) после вскрытия; в) после диспергирования 4 у. е. объема шлифовальных кругов на режиме правки с подачей на глубину  $t_0 = 0,001$  мм и достижения предельного значения  $\omega_{\max} = 74 \cdot 10^{-3}$  мм<sup>3</sup>/мм<sup>2</sup>; г) после повторного нанесения TiC/Co; д) после диспергирования 2,9 у. е. объема шлифовальных кругов на режиме правки с подачей на глубину  $t_0 = 0,005$  мм и достижения предельного значения  $\omega_{\max} = 87 \cdot 10^{-3}$  мм<sup>3</sup>/мм<sup>2</sup>.

320

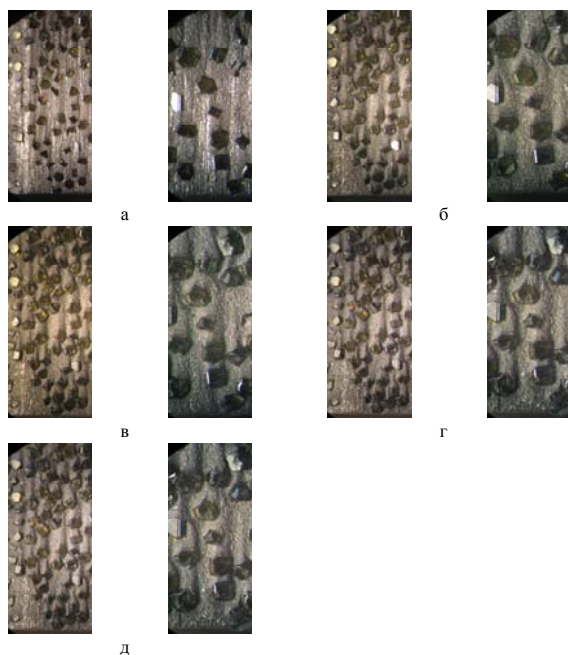


Рисунок 4 – Рабочая поверхность (при увеличении, отличающемся вдвое) алмазного правящего инструмента без покрытия на различных стадиях износа: а) после вскрытия; б) после диспергирования 4 у. е. объема шлифовальных кругов на режиме правки с подачи на глубину  $t_0 = 0,001$  мм и диспергирования 1,4 у. е. на режиме  $t_0 = 0,005$  мм; в) при достижении предельного (для  $t_0 = 0,005$  мм) значения  $\omega_{\max} = 87 \cdot 10^{-3}$  мм; г) после дополнительного диспергирования 0,6 у. е. на режиме  $t_0 = 0,010$  мм; д) после суммарного диспергирования 1,6 у. е. на режиме  $t_0 = 0,010$  мм и достижения предельного значения  $\omega_{\max} = 101 \cdot 10^{-3}$  мм.

321

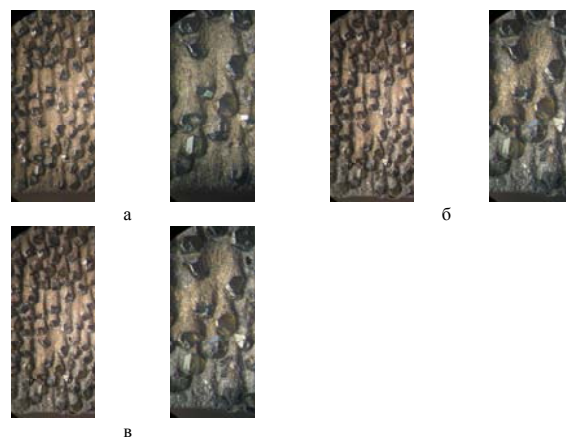


Рисунок 5 – Рабочая поверхность (при увеличении, отличающемся вдвое) алмазного правящего инструмента, защищенная ионно-плазменным покрытием TiN/Co, на различных стадиях износа: а) после нанесения покрытия на поверхность с «карманами»  $\omega = 87 \cdot 10^{-3}$  мм и вскрытия; б) после диспергирования 0,6 у. е. объема шлифовальных кругов на режиме правки с подачи на глубину  $t_0 = 0,010$  мм; в) после суммарного диспергирования 1,6 у. е. на режиме  $t_0 = 0,010$  мм и (предельное значение  $\omega_{\max} = 101 \cdot 10^{-3}$  мм все еще не достигнуто).

Фотография рабочей поверхности после нанесения слоя TiN/Co и вскрытия (рис. 5, а) указывает на наличие TiN/Co с характерным цветом. После диспергирования 0,6 у. е. и 1,6 у. е. объема шлифовальных кругов (рис. 5, б и рис. 5, в соответственно) при  $t_0 = 0,010$  мм карманы в межзеренном пространстве выглядят мельче, чем в случае контрольной рабочей поверхности на этих же этапах испытаний (рис. 4, г и рис. 4, д соответственно).

Второе, на что следует обратить внимание, каждому режиму правки соответствовала своя «полка»  $\omega_{\max}$ : при  $t_0 = 0,001$  мм  $\omega_{\max} = 74 \cdot 10^{-3}$  мм, при  $t_0 = 0,005$  мм  $\omega_{\max} = 87 \cdot 10^{-3}$  мм и при  $t_0 = 0,010$  мм  $\omega_{\max} = 101 \cdot 10^{-3}$  мм (рис. 2).

322

Таким образом, полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Подтвержден закон гидроабразивного износа (вымывания) никелевой связки алмазного однослойного правящего инструмента, согласно которому объем вымытой связки, равный объему межзеренного пространства рабочего слоя, с ростом объема диспергированного материала асимптотически приближается к предельному значению, зависящему от величины средней толщины единичного среза (опосредовано через подачу на глубину).

2. Скорость стремления к предельному значению, т.е. время достижения установившегося режима, определяется соотношением твердости связки (либо покрытия) и диспергируемого абразивного круга.

3. Практический эффект замедления гидроабразивного износа связки наблюдался при ее протекции ионно-плазменным покрытием TiN/Co, а покрытие TiC/Co оказалось не эффективным, вероятно, в силу меньшей адгезии к подложке, что требует дальнейших исследований.

**Список использованных источников:** 1. Шейко М. Н. Врезная правка алмазными брусками в свете механико-статистических представлений об абразивно-алмазной обработке. Сообщение 1. Редукция к схеме обработки с непрерывной подачей на глубину / М. Н. Шейко, О. В. Химач // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 1. – С. 36–45. 2. Шейко М. Н. Врезная правка алмазными брусками в свете механико-статистических представлений об абразивно-алмазной обработке. Сообщение 2. Некоторые теоретические вопросы инструмента с неоднородной рабочей поверхностью / М. Н. Шейко, О. В. Химач // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 2. – С. 47–52. 3. Stevens C. Electroplated Diamond Dressing Blocks. // Proceeding of the International Industrial Diamond Conference, Chicago, 1969, p. 137–140. 4. Лавриненко В. И. Влияние ионно-плазменных покрытий на эксплуатационные свойства алмазного правящего инструмента / В. И. Лавриненко, М. Н. Шейко, Е. В. Дабига, И. В. Бондарь, П. И. Бологов, А. Г. Лубнин // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 6. – С. 73–80. 5. Шейко М. Н. Эволюция рабочей поверхности алмазных брусков в процессе врезной правки / М. Н. Шейко, В. П. Мацкевич, В. М. Немец, В. Н. Скок // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якості поверхні деталей машин: Зб. наук. праць. – Київ: ІНМ НАН України, 2006. – с. 118–125. 6. Шейко М. Н. Эволюция рабочей поверхности алмазных правящих брусков на стадии, предшествующей ее разрушению / М. Н. Шейко, Д. Н. Бородавко, В. Н. Скок // Сверхтвердые материалы. – 2007. – № 2. – С. 65–72.

Поступила в редколлегию 15.05.2012

323